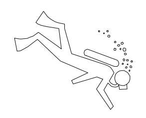
LES ORDINATEURS DE PLONGÉE



I - Avant propos

Ce document est loin de faire le point sur l'ensemble des connaissances existant sur les ordinateurs de plongée. Elles sont à ce jour beaucoup trop nombreuses et certaines indisponibles pour le plongeur lambda (secret commercial oblige!). Pour autant, je me suis efforcé de répertorier un certain nombre d'éléments de réponses aux questions les plus fréquentes que l'on peut se poser sur ces appareils (historique, concept général, composition, principe de fonctionnement, type d'utilisation, informations disponibles, comparaison avec les tables, des exemples d'appareil). Pour cela je me suis basé sur la documentation non exhaustive citée ci dessous.

II – Sources utilisées

Instruction n° 980002 IGHS (mars 1999): Réglementation de la plongée scientifique. Instruction d'application de la réglementation nationale et procédures de sécurité, pp 32-40.

Alain Delmas. 1997. Ordinateurs, mode d'emploi. Oceans 236 (mars-avril 1997).

Alain Delmas. 1998. Tables ou ordinateurs, que choisir? Plongée magazine Aout-Sept, pp 27.

Christian Guillemin. 1996. Plongée dans l'étude du matériel. Librairie Sixième-continent, 168 p.

Jean-Noel Trucco. 1996. Tables et ordinateurs. CTR Info n° 8 Bretagne pays de Loire, pp 9-10. Les ordinateurs de plongée. 1993. CTR Ile de France, 111 p.

Philip Foster. 1993. La plongée sous-marine à l'air: l'adaptation de l'organisme et ses limites. Presse Universitaire de Grenoble, 236 p.

Modes d'emploi de l'Aladin PRO et de l'Aladin AIR X (Uwatec), 82 p. & 98 p. respectivement

Mode d'emploi du CX 2000 BEUCHAT-COMEX

rem: il existe un livre sur les calculateurs de plongée: «tout savoir sur l'ordinateur de plongée» mails il donne essentiellement les caractéristiques des modèles, pas les principes. Il est intéressant pour l'historique des appareils, l'explication des plongées multi-niveaux, l'arbre généalogique des tables présenté plus bas.

III – Un peu d'histoire

L'idée de concevoir un appareil mesurant l'état de saturation tissulaire au cours d'une plongée est ancienne. Dans les années 1950, des prototypes fonctionnaient sur un mode analogique. Ils tentaient de reproduire mécaniquement la dissolution et la libération de l'azote dans un tissu moyen. Ces décompressimètres étant peu fiables, ils ont été rapidement abandonnés. Une deuxième génération d'appareils, marchant sur le mode digital, vît le jour dans les années 1980. Le faible coût de l'électronique et des microprocesseurs a permis leur essor. En 1993, un modèle apparaît tous les trois mois.

1983: Apparition du premier ordinateur de plongée sportive (le DECOBRAIN de Herman)
1985: Apparition et répartition en Europe de l'ALADIN (distribué par BEUCHAT)
1987: Le SUUNTO SME-ML
1989: L'ORCA Delphi
1991: Le TEKNA Computek
1992: L'AQUALUNG (Spirotechnique)…

En **1993**, seulement 20% des plongeurs en France utilisent un ordinateur contre
50% en Espagne,
80% en Italie,
100% en suisse.
Aujourd'hui en France, la plupart des plongeurs loisirs utilisent un ordinateur de plongée.

A partir de **1993** sont apparus sur le marché des appareils tenant compte de:
- la plongée avec effort
- la plongée aux mélanges

Depuis **1995**, les ordinateurs dits de troisième génération ou «adaptatifs» tiennent compte du «comportement du plongeur» au cours de sa plongée.

Aujourd'hui, l'utilisation des ordinateurs de plongée est plus courante que celles des tables et non l'inverse.

Lu dans Oceans n° 236
En 1950, les premiers 'décompressimètres' simulent la saturation grâce à des buses, soufflets, membranes et autres céramiques. Ils sont mécaniques ou électriques. Leur manque de fiabilité et leur encombrement les condamnent à l'oubli.

Dans les années 80, les ordinateurs de la première génération se contentent de lire des tables de plongée et considèrent donc des profils carrés. Leur fonctionnement est électronique, et même l'affichage digital qui les équipe progressivement ne permet pas de les démocratiser complètement

Les appareils de deuxième génération deviennent des calculateurs. Ils utilisent les modèles mathématiques de calculs de tables pour traiter les données fournies en temps réel par les capteurs. Les procédures de décompression collent aux profils réels des plongées. La miniaturisation des composant permet de réduire l'encombrement, toue en augmentant le potentiel de traitement d'informations. Les mémoires et les alarmes se multiplient. Les connections PC avec les ordinateurs apparaissent ainsi que les réglages personnels.

La troisième génération d'ordinateurs entre dans l'ère du calcul individualisé. La gestion de l'air est intégrée. Les premiers appareils indiquent simplement la pression d'air, puis ensuite l'autonomie restante. La consommation, la température de l'eau, la formation de micro-bulles et le mélange influent sur le calcul de la décompression.

IV - Rappels

Saturation - désaturation

Les tissus de l'organisme se saturent et se désaturent en N_2 suivant une loi exponentielle comme indiquée sur la figure ci-après. La tension d'azote dissout dans un tissu est donnée par la formule bien connue:

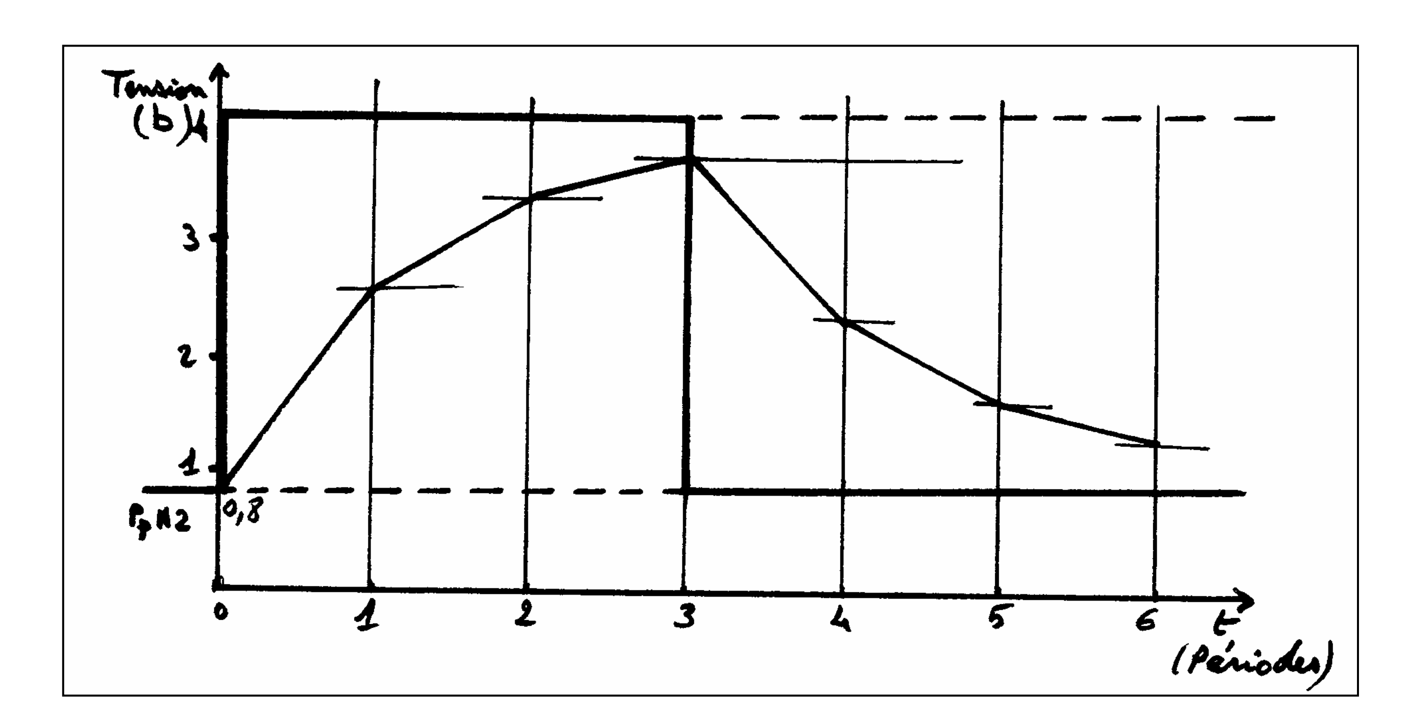
$$T_{N2} = p + (P-p)(1-05^{t/T})$$

Où: p est la tension partielle d'azote initiale dans le tissu
P est la pression partielle d'azote libre imposée au tissu
T est la période d'azote du tissu
t est la variable temps

Le tissu est caractérisé par:

- **T** ou période (temps nécessaire pour que sa tension d'azote varie de la moitié de la variation à laquelle il est soumis)
- **Sc** ou coefficient de sursaturation critique (valeur au-delà de laquelle un dégazage incontrôlé et donc un accident sont susceptibles d'arriver)

$$Sc = T_{N2}/P_{absolue}$$



Ces considérations constituent un modèle dont le principe a été énoncé dès 1907 par le physiologiste anglais Haldane (voir cours sur les tables).

Les facteurs de risque

Un certain nombre de problèmes influence la décompression de notre organisme:

- **Le froid** ralentit la perfusion des tissus centraux. En fin de plongée, leur désaturation s'en trouve ralentie tandis que le coefficient de sursaturation critique diminue. Ces phénomènes augmentent le risque de voir les bulles s'y développer.

- **Le travail** augmente la perfusion des muscles concernés. Ils se trouvent donc avec davantage d'azote qu'au repos. Lors de la remontée, la perfusion de ces muscles redevient normale d'où il résulte une augmentation de la durée de la désaturation et une diminution de leur coefficient de sursaturation critique.
- **Les micro-bulles** ont une durée de vie limitée et circulent sans être pathogènes. Elles peuvent le devenir:
  - en cas de remontée rapide en grossissant, se regroupant et créant une embolie
  - en passant le filtre pulmonaire et en se retrouvant dans la circulation artérielle (là, elles vont pouvoir se distribuer dans tout l'organisme et en particulier dans les tissus à bonne perfusion comme le système nerveux et la moelle épinière – cas concret du foramen ovale qui concerne en théorie 30% des plongeurs)
  - au cours de l'intervalle de temps entre les plongées
  - en cas de plongées yo-yo
  - en cas de shunt pulmonaire
- **Les bulles**

D'une façon générale et contrairement à la théorie, la désaturation des tissus ne suit pas la même loi que la saturation à cause de la présence des micro-bulles. Il est donc nécessaire d'en tenir compte que ce soit pour les tables ou pour les ordinateurs.

V - La plongée multi-niveaux ou plongée «en escaliers»

Au début, c'était une utilisation fantaisiste des tables US NAVY (table ci-dessous). Fantaisiste parce que les plongeurs ont commencé à plonger ainsi sans qu'il y ait eu la moindre étude préalable de ce protocole par des gens sérieux (il y a eu une étude à posteriori, qui n'a pas montré que cette manière d'utiliser les tables provoquait davantage d'accidents). Les tables US Navy ont été faites, comme les GERS et les MN pour des plongées "carrées", donc avec un seul niveau: la profondeur maximale. Mais la présentation des tables US Navy a fait germer une idée dans la tête de certains plongeurs. En effet, on obtient l'état de saturation en rentrant dans la table à la ligne correspondant à la profondeur d'intérêt, et en prenant le temps au fond. Des plongeurs ont remarqué que plusieurs colonnes (correspondant à des temps et profondeurs d'immersion différents) donnaient le même état de saturation. Pour prendre l'exemple donné dans la table ci-dessous, les plongeurs remarquaient que s'ils passaient 15 minutes à 30 mètres, «c'était comme si» ils avaient passé 25 minutes à 18 mètres. Mais s'ils restaient à 30 mètres, ils ne pouvaient rester que 25 minutes, alors qu'ils pouvaient rester 60 minutes à 18 mètres. D'où le concept multi-niveau: on commence sa plongée au niveau le plus profond, puis on passe à un niveau moins profond en remontant le long d'une colonne: à partir de ce nouveau point, on remplace la durée réelle de plongée par la durée fictive au nouveau niveau, et on continue sa plongée à ce niveau. On peut faire plusieurs changements, mais bien sûr, toujours en remontant puisque c'est l'intérêt du système.

Profondeur en mètres	pieds	Durée maximale sans palier *	Valeur du coefficient C														
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
3	10	-	60	120	210	300											
4,5	15	-	35	70	110	160	225	350									
6	20	-	25	50	75	100	135	180	240	325							
7,5	25	-	20	35	55	75	100	125	160	195	245	315					
9	30	-	15	30	45	60	75	95	120	145	170	205	250	310			
10,5	35	310	5	15	25	40	50	60	80	100	120	140	160	190	220	270	310
12	40	200	5	15	25	30	40	50	70	80	100	110	130	150	170	200	
15	50	100	-	10	15	25	30	40	50	60	70	80	90	100			
18	60	60	-	10	15	20	25	30	40	50	55	60					
21	70	50	-	5	10	15	20	30	35	40	45	50					
24	80	40	-	5	10	15	20	25	30	35	40						
27	90	30	-	5	10	12	15	20	25	30							
30	100	25	→	5	7	10	15	20	22	25							
33	110	20	-	-	5	10	13	15	20								
36	120	15	-	-	5	10	12	15									
39	130	10	-	-	5	8	10										
42	140	10	-	-	5	7	10										
45	150	5	-	-	5												
48	160	5	-	-	-	5											
51	170	5	-	-	-	5											
54	180	5	-	-	-	5											
57	190	5	-	-	-	5											

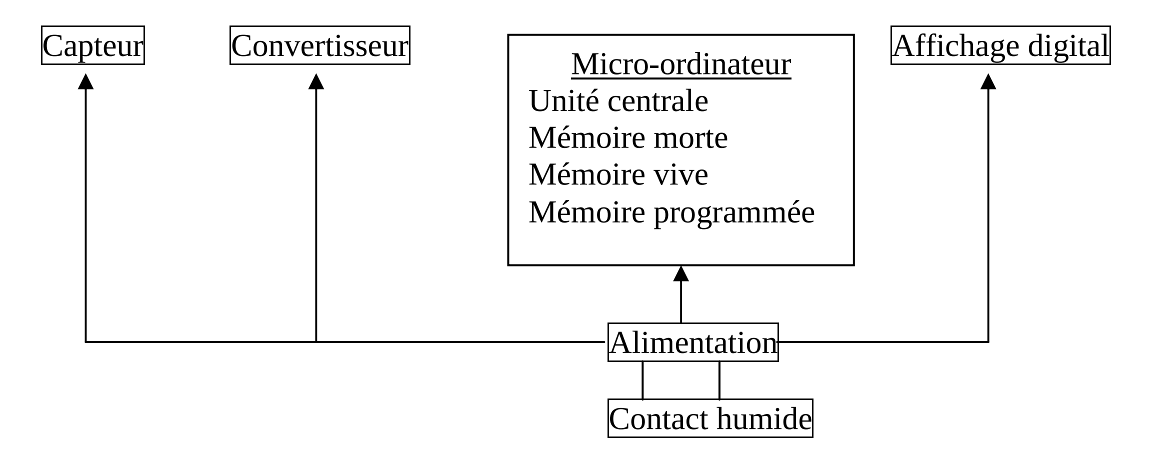
*** Les durées sont exprimées en minutes**

Cette manière d'utiliser les tables correspond exactement à la manière conseillée d'utiliser un ordinateur: la profondeur maximale au début, et la remontée progressive destinée à éviter d'avoir à faire des paliers.

VI - Qu’est ce qu’un ordinateur de plongée?

Il s’agit d’un outil précis permettant de calculer, enregistrer et afficher la profondeur, le temps, et les informations sur la remontée et sur la décompression. Il a pour vocation de remplacer les tables et l'un de ces buts principaux est d'empêcher les micro-bulles de se transformer en bulles. Depuis leur création, les appareils n’ont cessé de s’améliorer et d’accumuler les options les plus diverses (voir plus bas).

VII - Concept général de l’ordinateur



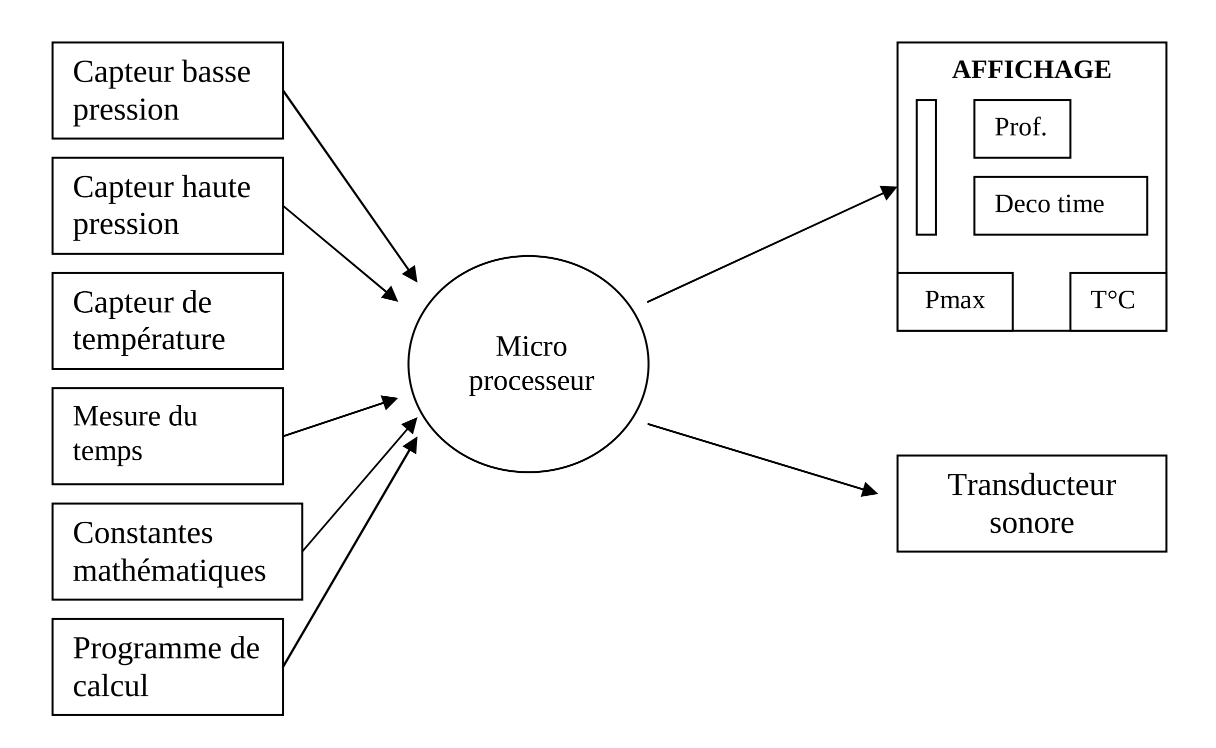
Les éléments communs à tous les ordinateurs sont:

- un capteur de pression ambiante et d’humidité (pour la pression, c'est une lame de silicium qui se déforme induisant un courant électrique. Ces capteurs sont très sensibles. Quand la machine s’initialise toute seule, c’est qu’il y a un capteur de pression atmosphérique. Ca n’aime pas les chocs: si on tape dessus à la surface, ça équivaut à une descente instantanée de 0 à 40 m)
- un convertisseur de type analogique digital (l’information analogique doit être convertie en une valeur numérique ou digitale pour être utilisable)
- une horloge ou «timer»
- une alimentation (avec la pile lithium, c’est constant jusqu’à ce que ça meurt. Quand on lit 90% pour la batterie, cela correspond à un temps de durée et pas à un niveau de puissance)
- un afficheur digital
- un écran à cristaux liquides
- une unité centrale de programmation avec mémoire morte (PROM: Programmable Read Only Memory), mémoire vive (RAM: Random Access Memory)
- une alarme éventuellement

Le programme stocké en mémoire morte (PROM) analyse en permanence toute variation de pression. Il calcule constamment la saturation des différents tissus au niveau de pression indiqué à partir des tables de décompression implantées par le constructeur dans sa mémoire morte. Une rupture dans l’alimentation n’a donc aucun effet sur le programme et son mode de calcul. Les informations courantes sont stockées par le programme dans une mémoire modifiable (RAM). Celles ci sont constamment mises à jour avec les informations de pression (capteur), de temps (timer) et de saturation (résultats des calculs effectués).

VIII - Principe de fonctionnement

Un petit calculateur (microprocesseur) fait tourner un modèle mathématique qui simule notre organisme (du moins quelques phénomènes physiologiques). Le modèle (variable suivant le fabricant) prend en compte un certain nombre de paramètres (nombre qui grandit d’année en année, surtout depuis l’apparition des ordinateurs adaptatifs) au travers d'un (ou plusieurs) algorithme(s) de calcul.



Les algorithmes constituent un moyen simplifié d'expliquer le fonctionnement d'un ordinateur. Les suites d'actions qui comprennent des mesures, des calculs et des décisions logiques sont souvent représentés par un dessin simplifié appelé *algorigraphe* comme celui représenté ci après.

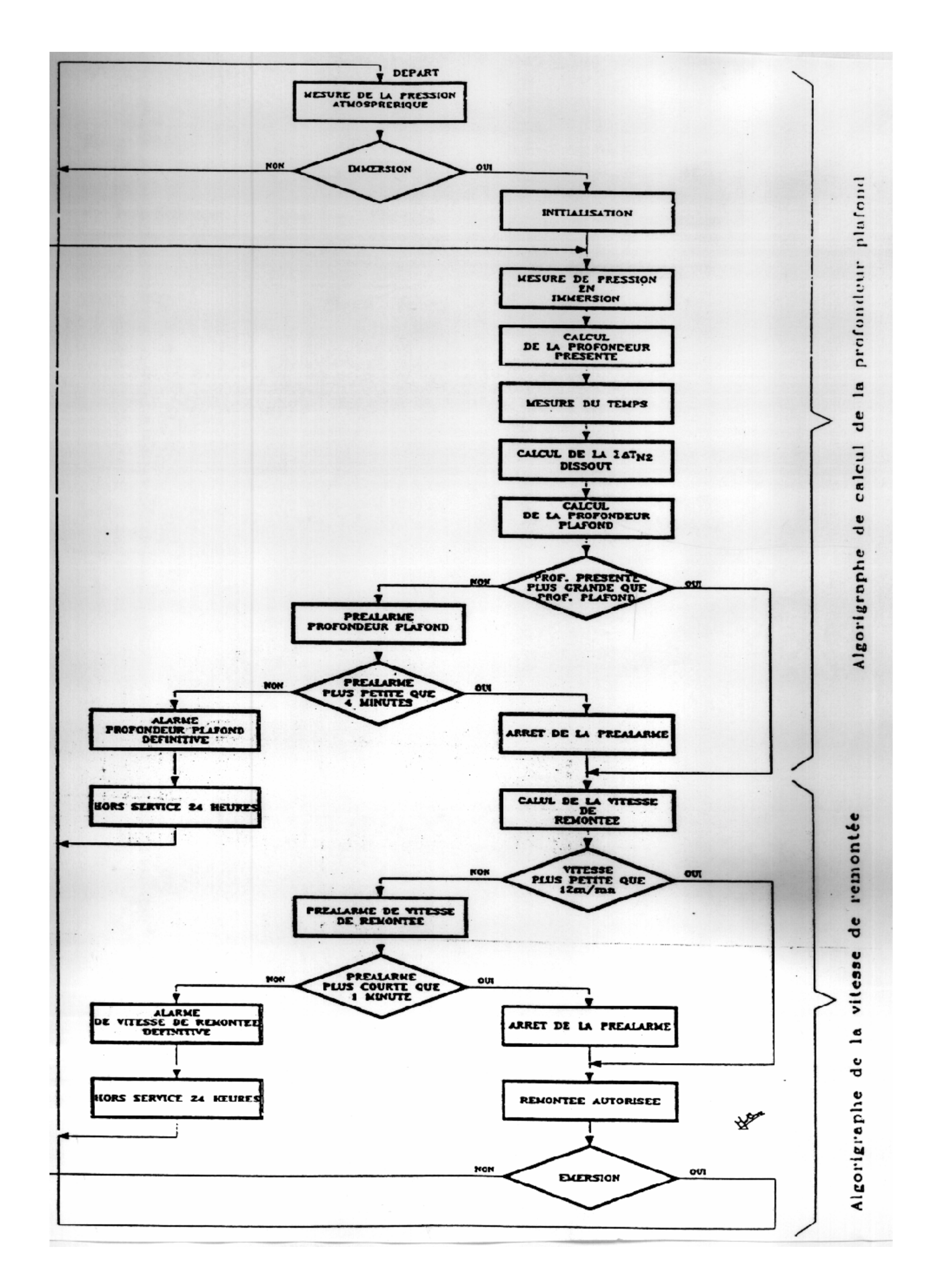
Par analogie, changer la roue d'une voiture consiste en une suite logique d'opérations que l'on pourrait symboliser comme suit:

Début

1. Mettre le cric en place
2. Débloquer les écrous
3. Tourner la manivelle du cric jusqu'au décollement de la roue du sol
4. Enlever les écrous
5. Enlever la roue
6. Mettre la nouvelle roue en place
7. Visser les écrous
8. Bloquer les écrous
9. Retourner la manivelle
10. Enlever le cric

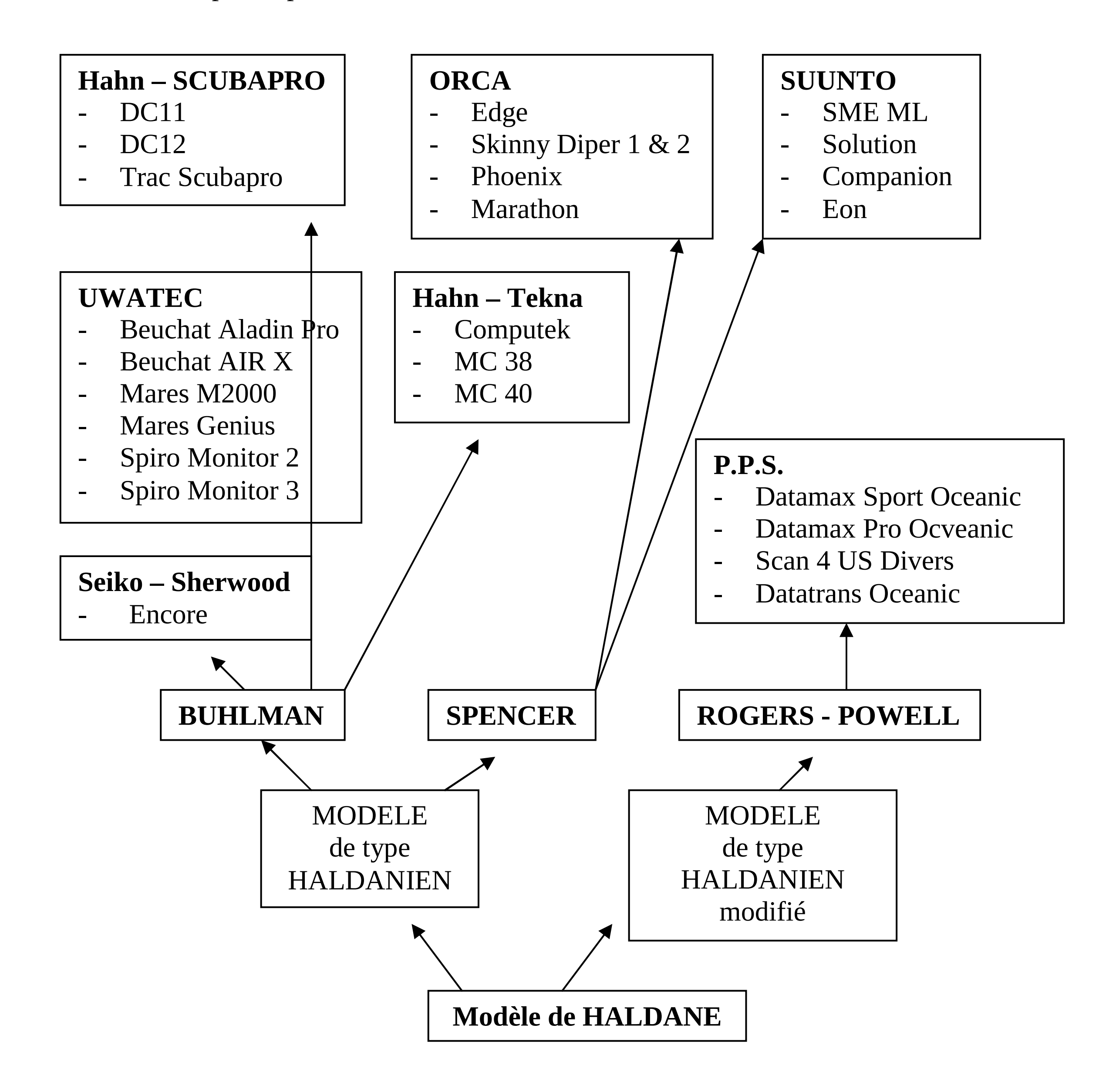
Fin

Le fonctionnement d'un ordinateur peut être ainsi expliqué par plusieurs algorithmes. La figure ci dessous nous montre la décomposition en deux parties de la suite des opérations concernant la décompression d'un tissu, l'autre celles de la vitesse de remontée. Désolé pour la qualité de la figure!


DEPART
MESURE DE LA PRESSION ATMOSPRERIQUE
IMMERSION
NON
OUI
INITIALISATION
MESURE DE PRESSION EN IMMERSION
CALCUL DE LA PROFONDEUR PRESENTE
MESURE DU TEMPS
CALCUL DE LA ΣΔT N2 DISSOUT
CALCUL DE LA PROFONDEUR PLAFOND
PROF. PRESENTE PLUS GRANDE QUE PROF. PLAFOND
NON
OUI
PREALARME PROFONDEUR PLAFOND
PREALARME PLUS PETITE QUE 4 MINUTES
NON
OUI
ALARME PROFONDEUR PLAFOND DEFINITIVE
ARRET DE LA PREALARME
HORS SERVICE 24 HEURES
CALUL DE LA VITESSE DE REMONTEE
VITESSE PLUS PETITE QUE 12m/mn
NON
OUI
PREALARME DE VITESSE DE REMONTEE
PREALARME PLUS COURTE QUE 1 MINUTE
NON
OUI
ALARME DE VITESSE DE REMONTEE DEFINITIVE
ARRET DE LA PREALARME
HORS SERVICE 24 HEURES
REMONTEE AUTORISEE
EMERSION
NON
OUI
Algorigraphe de calcul de la profondeur plafond
Algorigraphe de la vitesse de remontée

De la même manière qu'il existe plusieurs tables, il existe plusieurs types de modèles utilisés dans les ordinateurs:

L'arbre généalogique présenté ci-dessous donne une idée des modèles utilisés pour les ordinateurs les plus répandus du marché:



Les tables programmées dans les ordinateurs de plongée sont donc basées sur des modèles de calcul différents. Le modèle de base est celui de Haldane pour les tables de plongée (qui est basé sur les périodes de saturation et de désaturation des tissus) mais ce n'est pas toujours le cas pour les tables programmées dans les ordinateurs même si elles s'en inspirent.

Ex: - *Buhlmann:* Prise en compte de l'air alvéolaire comme gaz respiré en plus du modèle de Haldane. Cette prise en compte est fondamentale car la composition de l'air alvéolaire ne suit pas la loi de Dalton. Le meilleur exemple est donné par le cas d'une plongée en altitude: la pression alvéolaire de la vapeur d'eau est constante, du CO_2 également mais celle de l'O_2 chute beaucoup plus que ne le laisse entrevoir la loi de Dalton et donc la ppN2, c'est ce qui reste. Buhlmann a

donc proposé différentes tables en fonction de l'altitude. Chaque compartiment est divisé en trois paramètres (période, deux coefficients).

- *Hempleman*: Concept de calcul basé sur la diffusion d'un gaz inerte dans un milieu non nécessairement vascularisé.
- *Thalman*: Le modèle a pour caractéristique une décompression linéaire avec des paliers plus importants.

Le degré d'automatisation des appareils a évolué au cours du temps. Aujourd'hui, les appareils du marché sont pour la plupart entièrement automatisés. Il faut distinguer toutefois:

- Les non automatisés qui ne suivent pas Patm. Ils ont été initialisés une fois pour toute au niveau 0 des mers.
- Les semi-automatisés qui ne suivent pas Patm. Ils s'initialisent à la mise en marche et introduisent les corrections nécessaires, il faut donc un certain temps d'adaptation à l'altitude.
- Les entièrement automatisés mesurent périodiquement la pression d'air ou d'eau. On dit qu'ils sont en **«stand-by» ou état de veille**. Ils s'initialisent et s'auto-testent lors d'une réactivation / immersion. Ils introduisent automatiquement les corrections liées à l'altitude. Ils permettent de se mettre à l'eau sans précaution particulière.

Le fonctionnement des ordinateurs peut être de deux types:

- il fonctionne sur la base de l'utilisation et la lecture d'une table en mémoire
- il fonctionne en considérant un bilan d'azote permanent (les plus utilisés)

<u>Le type table</u> consiste en l'intégration d'une table dans le programme, l'ordinateur optant scrupuleusement pour la remontée appropriée (en affichant donc les informations extraites de la table en mémoire) de la même manière que l'aurait fait un plongeur utilisant une table. Très peu d'ordinateurs de ce type existent sur le marché.

<u>Le type ML (calculant instantanément l'état de saturation du plongeur)</u>

- calcule en permanence le bilan d'azote de plusieurs compartiments
- calcule les paliers nécessaires en cas de remontée immédiate
- affiche les informations

En plus, certains calculateurs

- mesurent en permanence la pression d'air du bloc
- calculent la consommation instantanée du plongeur
- calculent l'autonomie du plongeur
- signalent un danger quand l'autonomie devient insuffisante pour assurer les paliers
- signalent les fautes de procédures

En cas de faute grave, ils se bloquent

Ils gardent en mémoire les dernières plongées effectuées

Le rôle de l'ordinateur ne s'arrête pas là puisqu'il se poursuit au-delà de la plongée. L'état de saturation des tissus du plongeur continue à être analysé après sa sortie de l'eau et ce pendant plusieurs heures.

Quand l'ordinateur s'éteint-il?

Sur les modèles d'aujourd'hui, l'appareil se met en veille dès que la saturation des tissus calculée par l'ordinateur rejoint le niveau normal et qu'il n'y a plus de variation appréciable de pression. Il s'allume dès que le capteur de pression l'informe de la présence d'humidité.

En résumé :

Le programme effectue les opérations suivantes:
- calcul de saturation et de désaturation des différents tissus
- contrôle des vitesses de remontée
- contrôle d'autonomie

Pour cela, il utilise les services du micro-ordinateur plus précisément de son unité centrale (CPU: Central Program Unit) qui est donc responsable de l'exécution du programme, de la compilation des instructions qu'il comporte et effectue les opérations mathématiques demandées par le programme. En retour, il fournit au programme les résultats des opérations demandées puis rentre dans les tables de plongée programmées.

Les résultats sont affichés pour être utilisables par le plongeur sur l'afficheur à cristaux liquides.

VIII – Quelles sont les informations disponibles au plongeur ?

Informations disponibles avant la plongée:
- autotest
- état de la batterie
- mode simulation
- altitude et pression atmosphérique
- options de plongée
- pression dans le bloc

Informations affichées pendant la plongée:
- profondeur instantanée
- profondeur maximale
- durée de la plongée
- temps restant pour une plongée sans paliers
- profondeur et durée des paliers
- pression dans le bloc
- autonomie et alarmes
- vitesse de remontée et alarmes
- fautes de procédures
- température de l'eau

Informations affichées après la plongée:
- intervalle de surface
- durée de désaturation
- indicateur d'interdiction de vol
- options possibles pour la prochaine plongée
- journal des plongées

IX – Principe de fonctionnement en conditions réelles

Pression, temps, température,…. → Microcalculateur

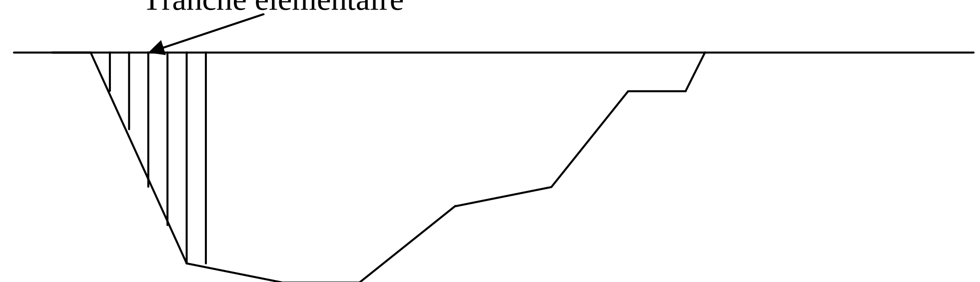
Traitement en temps réel → renseignement au plongeur en continu

Pour chaque compartiment, l'absorption (et l'élimination) d'azote est calculée à l'aide d'expressions mathématiques, soumis à une suite de décisions logiques (algorithmes)

Le tout constitue le modèle qui simule les variations de la tension d'azote dans notre organisme

Pour suivre l'évolution de ces tensions d'azote, les calculs sont effectués à grande vitesse, à partir de mesures réactualisées toutes les 2 à 3 secondes, de façon à obtenir un résultat en temps réel qui va dépendre du profil de la plongée.

La plongée est donc assimilée à une suite de plongées élémentaires rectangulaires et consécutives



Pendant chaque plongée élémentaire, la pression absolue mesurée est considérée comme constante et on en déduit, pour chaque compartiment, la variation $\Delta TN2$ de la tension d'azote dissous qui en résulte.
La valeur totale de la tension d'azote dans chaque compartiment sera égale à:

$$To + \sum \Delta TN2$$

Avec To = tension initiale, $\sum \Delta TN2$ = somme des variations élémentaires de la tension d'azote

A partir de cette information, pour chacun des compartiments pris en considération, l'ordinateur sera en mesure de déterminer la pression minimale tolérable Pmin et donc d'indiquer au plongeur les paliers à respecter afin de ne jamais dépasser les coefficients de sursaturation critique admis

$$Pmin >= (To + \sum \Delta TN2)/Sc$$

La profondeur des paliers est déduite de la pression absolue minimale tolérable au dessous de laquelle le plongeur ne doit pas remonter sans risque d'accident. Elle varie tout au long de la plongée et elle dépend de la charge en azote des tissus et de la pression atmosphérique.
La durée du palier est simulée en prenant pour hypothèse qu'au moment présent le plongeur respecte la procédure de remontée indiquée.

X - Ordinateurs et tables: un débat ?

Dans l'article 17 de l'Instruction n° 980002 de l'IGHS (mars 1999): Réglementation de la plongée scientifique. Instruction d'application de la réglementation nationale et procédures de sécurité, on peut lire que:
«les ordinateurs sont interdits sauf en tant que profondimètre».

On est en droit dès lors de se demander quel est l'intérêt d'un tel cours sur les ordinateurs. En fait, l'ordinateur de plongée est devenu une réalité. Prenons pour exemple la formation des plongeurs de la FFESSM:

- Pour le niveau 2 apparaît dans la compétence 6 (= connaissances théoriques), le fait de devoir préciser les conditions d'emploi et les limites d'utilisation des ordinateurs de plongée
- Pour le niveau 3, il y a en plus la nécessité d'informer sur la planification de la plongée lorsque coexistent plusieurs méthodes de décompression (impérativement la solution adoptée doit permettre le maintien de la cohésion de la palanquée)
- Pour le niveau 4, il faut que les plongeurs acquièrent la connaissance sur les calculateurs (il ne faut pas envisager un catalogue des performances mais enseigner les principes d'utilisation et les limites de ces appareils, établir en plus les parallèles avec l'utilisation de la table MN90). Il faut encore parler de la cohabitation des procédures de décompression différentes (étude des solutions permettant de concilier le respect de la liberté du choix de chaque plongeur avec les impératifs de la plongée en collectivité: sécurité et cohésion des palanquées).

On peut donc penser au regard de l'évolution de ces machines et des mentalités que les ordinateurs de plongée finiront par être un jour acceptés. Les raisons pour cela sont multiples:

- Ils permettent de respecter facilement la vitesse de remontée par des signaux visuels (flèche) et sonore (alarmes d'intensité variable en cas de non respect). De plus, les ordinateurs ont en mémoire une vitesse de remontée de 12 m/min, la vitesse moyenne préconisée par les tables COMEX PRO. Les ordinateurs adaptatifs font même mieux en considérant que suivant la profondeur et l'état de saturation du plongeur, la vitesse de remontée doit être différente pour optimiser la décompression (jusqu'à 30 m/min au fond à 7 m/min à proximité de la surface)
- Par le calcul instantané de la pression ambiante, ils présentent un intérêt évident pour la plongée en altitude. La profondeur lue sur l'appareil correspond à la profondeur réelle (car le capteur de pression renseigne directement sur la hauteur de la colonne d'eau [cette mesure faite par les profondimètres électroniques et ordinateurs s'opposent au système à capillaire, membrane, capsule, et tube de bourdon])
- L'ordinateur se souvient de la plongée de la veille, pas les tables. C'est particulièrement intéressant quand on fait des travaux pendant plusieurs jours, à raison de deux plongées par jour relativement profondes. Pour s'en convaincre, une anecdote:

> Des plongeurs sortent d'une successive avec un ordinateur qui bipe. Pourtant tout le monde a le même profil et a bien respecté les procédures préconisées par les tables. La première réflexion est que la machine a un bug ou que l'engin est très pénalisant. Une heure passe et les premiers signes d'un ADD sans gravité s'annoncent. Le plongeur ira au caisson. Que s'est-il passé? En fait, le dit-plongeur a également fait deux plongées la veille par opposition avec sa palanquée du jour. L'ordinateur s'en est souvenu et a préconisé avec raison une décompression plus grande, pas les tables qu'il a utilisées le jour de l'accident.

Autres avantages de l'ordinateur:

- La procédure de décompression est déterminée en prenant compte le profil réel de la plongée donc des quantités d'N_2 réellement accumulées dans certains tissus. Avec les tables, on

considère que le plongeur a passé la totalité du temps à Pmax, ce qui est rarement le cas. Il y a donc optimisation du temps de plongée
- La lecture est facile et moins d'erreurs sont possibles
- La vitesse de la remontée est contrôlée de façon rigoureuse
- Les alarmes sont très utiles
- Il y a considération des tissus longs soit donc une meilleure prise en compte des plongées sur de longues périodes
- Avec la table, on utilise des valeurs de profondeurs arrondies aux 2 ou 3 m plus profonds, une durée arrondie aux 5 minutes suivantes. L'ordinateur travaille avec la profondeur et le temps exact: pas de marge

Il est important de rappeler que l'ordinateur n'existe pas sans la table. Alors pourquoi les interdire?
- Causes de pannes? Car pas de codification d'une procédure de secours?
- Mixité des appareils et manque d'uniformisation possible?
- Ne plus apprendre les tables?
- Raison commerciale: quel appareil?
- Certains ne tiennent pas compte de certains facteurs de risque ou de certains profils or ces profils s'accompagnent souvent d'accidents?
- L'automaticité peut entraîner un relâchement de l'attention (vis à vis de la consommation typiquement)?

On a souvent mis en avant que l'ordinateur est un outil personnifié. Il est évident en effet qu'avec deux profils différents, on aura à coup sur des contraintes de décompression différentes. Ce sera le cas de deux travailleurs sous l'eau qui fourniront des efforts différents en travaillant éventuellement à des profondeurs différentes (même minimes). Mais c'est un faux problème car les ordinateurs adaptatifs avec la batterie de paramètres pris en compte vont forcément dans le sens d'une décompression accrue et le plus pénalisant s'il y a lieu pourra servir de référence pour les paliers à faire pour l'ensemble de la palanquée.

Ceci est vrai quand on est dans le cas d'une première plongée. Le problème est tout autre dans le cas de plongées successives c'est à dire avec une plongée débutant en état de sursaturation. Dans le cas des tables, la durée ou intervalle maximal pour être considérée comme une première plongée est de 12 h. Pour l'ordinateur adaptatif, ça peut être moins ou plus. C'est ce en quoi la machine est dite personnifiée: on ne peut pour l'instant lui faire tenir compte de paramètres autres que ceux que l'ordinateur a lui même vécu.

En résumé:
Les paramètres donnés par les ordinateurs dits de troisième génération ou «adaptatifs» correspondent mieux à la réalité et propose un mode de décompression très adapté et moins carré que les tables qui ne jouent que sur le couple Pmax/durée, à l'exemple de:
- La gestion sous l'aspect de l'autonomie et non du couple Pmax/durée (émetteur VHF)
- Des profils de plongée liés à la topographie
- Des vitesses de remontée variables
- De la prise en compte des effets anormaux
- De la prise en compte des microbulles
- Des remontées répétées
- Des successions de plongée
- Des plongées nitrox, trimix
- De la prise en compte de la température (refroidissement du corps au bout d'un certain temps)

ILS PEUVENT SERVIR DE BOITE NOIRE DU PLONGEUR

Si les ordinateurs de plongée sont interdits en plongée professionnelle, c'est tout simplement parce que seules les tables de décompression reconnues par le ministère du travail sont les CP92 et qu'il n'existe pas d'ordinateur les utilisant ? En fait, non. Il existe bien un ordinateur qui les utilise (table COMEX 1997). C'est le CX 2000 présenté ci-dessous.



Le CX 2000 = un fabricant (BEUCHAT) et une table MT92 (COMEX)

- Algorithme COMEX sur 20 tissus (plongées répétées)
- Pmax air 70 m
- Vitesse recommandée 10-12 m/min
- Plongée en eau froide (mode durci automatique ou manuel)
- Durcissement automatique de la décompression

Question/réponse avec Jena-Pierre Imbert et Bernard Gardette (COMEX)
Pourquoi le Ministère ne reconnaît pas l'utilisation des ordinateurs de plongée pour la plongée professionnelle ? Des ordinateurs comme le CX2000 utilisent pourtant une table COMEX ? Y a t-il d'autres ordinateurs utilisant ce type de tables ? Peut-on imaginer une évolution des textes à ce sujet ?

JPI : Les tables officielles ne sont là que pour éviter que les plongeurs pro utilisent n'importe quoi pour leur décompression. Il est impossible de contrôler la qualité des ordinateurs de plongée. Je n'ai pas participé à l'élaboration de l'ordinateur *Beuchat*. Il contient quelque chose qui ressemble aux tables MT92 (table COMEX 1997). Tout cela, c'est du passé, il n'y a plus d'argent et il n'y aura pas de révision.

BG : le CX2000 est bien le seul ordinateur utilisant une table COMEX pour la plongée professionnelle, un dérivé des tables MT92. Si il n'est pas question de voir un ordinateur remplacer la table, c'est qu'il n'y a pas eu de vraie campagne à ce sujet, et il n' y a en fait pas de

demande réelle par le ministère, l'INPP…. Depuis la fin de l'année 2003, la commercialisation du CX2000 a été arrêté par BEUCHAT en raison notamment du flop financier car ils pensaient/voulaient en vendre 5 à 10 fois plus (raisons économiques strictes). C'est bien dommage car il s'agissait d'un outil d'aide à la décision pour des profils carrés remplissant parfaitement son rôle. Le paradoxe est que dans les magasins, il était présenté comme l'outil des plongeurs pro. On fait difficilement mieux en terme de contre publicité !

Et une information fournie par le « grand » **Gérard Thouzeau** lui-même : Le CX2000 utilise une table COMEX 1997 qui est relativement proche de la CP92 pour une première plongée carrée mais la procédure est beaucoup moins pénalisante dans le cadre d'une successive, comparativement à la table.

XI – Quel ordinateur choisir ?

A priori, pour nous, la question n'a donc pas lieu d'être. Mais allons au-delà et proposons nous d'avoir un regard objectif sur les critères dictant le choix d'un « bon » ordinateur de plongée. En mai 2004, le magazine « *Plongeurs international* » a publié un excellent test matériel portant sur 23 ordinateurs qui ont été comparés en laboratoire et en mer. Ce qui suit est directement tiré de cet article.

Les ordinateurs testés :

CRESSI	*Archimède*
DACOR	*Darwin*
	Darwin air
MARES	*Nemo*
	M1
	M1 RGBM
OCEANIC	*Veo 100*
	Veo 150
	Veo 250
	Versa Pro
	VT pro
SEAC SUB	*Aqualab*
SUUNTO	*Mosquito*
	Vytec
	Vyper
	Cobra
	Gekko
UWATEC	*Aladin Smart Pro*
	Aladin Air Z Nitrox
	Aladin Air Z O2
	Aladin Pro Ultra
	Aladin Smart Com

Les modèles utilisés dans ces différents calculateurs:

UWATEC	modèle à 8 compartiments (Buhlmann)
SUUNTO	modèle à 8 ou 9 compartiments (Spencer)
OCEANIC, MARES, DACOR	Base Spencer + retouches par Roger et Powel pour OCEANIC ou retouches maison pour MARES et DACOR

SEAC, CRESSI	Modèle Seiko à 16 compartiments sur la base des travaux de Buhlmann

Les critères pris en compte au labo : la procédure de décompression
En caisson, tous les ordinateurs ont été mis ensemble dans des cuves d'eau de manière à faire une comparaison dans des conditions similaires. La simulation a été celle d'une sortie plongée week-end donc 4 plongées sur 2 jours :
1er matin : 10h00, 30 m, 30 min
1er après-midi : 14h00, 20 m, 40 min
2nd matin : 10h00, 40 m, 20 min
2nd après-midi : 14h00, 20 m, 40 min

Les critères pris en compte en mer : tout le reste
Bracelet, écran, richesse des fonctions disponibles, clarté des informations, facilité de navigation dans les menus, conservatisme

Résultats
La palme revient au *Vytec* de SUUNTO (1150 Euros), suivi de très près par le *Stinger* (630 Euros) et le *Cobra* (690 Euros) toujours de chez SUUNTO

Je vous invite à lire l'article photocopié ci-après (avec l'autorisation de l'éditeur) car vous verrez qu'au-delà de certains aspects, tout est surtout affaire de goût !